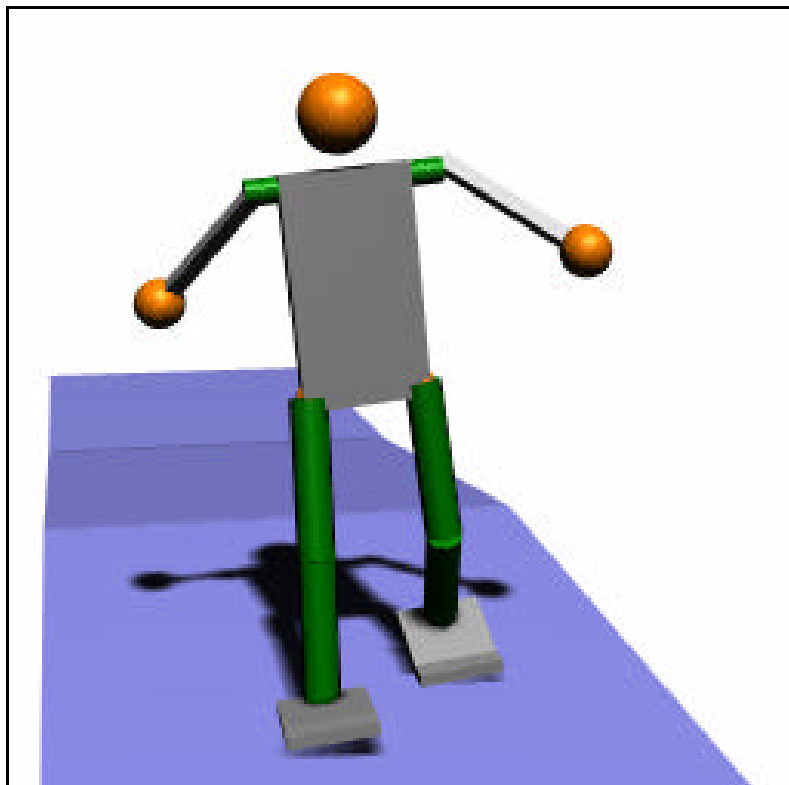


UNIVERSITA' DEGLI STUDI DI PADOVA  
FACOLTA' DI INGEGNERIA  
Corso di Laurea in Ingegneria Meccanica

LABORATORIO DI ANALISI FUNZIONALE CON  
VISUAL NASTRAN 4D:

SIMULAZIONE DINAMICA DELLA  
CAMMINATA UMANA



Agostinetti Piero (425902/IM)

A.A. 2001 - 2002

## 1. Sommario

L'obiettivo di questa esercitazione è quello di simulare la camminata umana mediante il programma di simulazione dinamica Visual Nastran 4D. Da modelli più semplici e controllabili, si passa a modelli più simili alla realtà. Per ogni modello sono indicati i gradi di libertà permessi al torace.

### 2.1 Modello I (*gdl torace: x,y,z*)

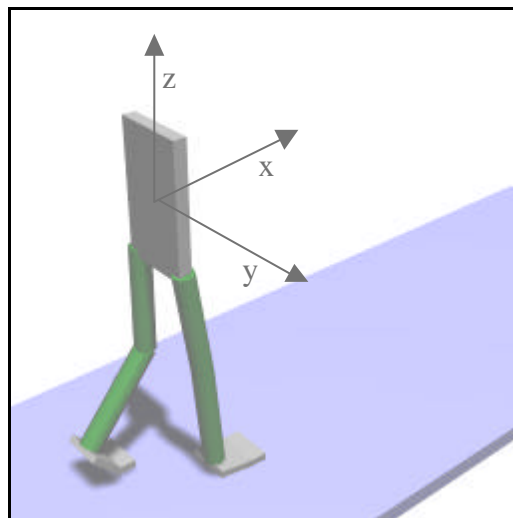
Innanzitutto si sono creati il torace (modellizzato con un parallelepipedo), le gambe (cilindri), i piedi (parallelepipedo), il pavimento (parallelepipedo).

Si è poi vincolato il sistema:

- Il torace può traslare nelle direzioni  $x$ (direzione camminata),  $y$  (direzione trasversale) e  $z$  (direzione verticale), mentre sono bloccate le rotazioni lungo le tre direzioni.
- Il moto delle gambe è dato da motori che impongono una legge sinusoidale di spostamento angolare tra gli elementi; per ogni gamba è presente un motore per il movimento dell'anca, uno per il ginocchio e uno per la caviglia.
- La parte più avanzata del piede è vincolata a rimanere parallela al piano  $xy$  mediante un vincolo di tipo *Generic* che blocca la rotazione lungo  $y$ .
- Il contatto piede-pavimento è del tipo *Custom Model* ed è tarato in modo da evitare sia lo sprofondamento dei piedi nel pavimento, sia il loro saltellamento.

Per ogni motore sinusoidale si sono introdotti 3 controlli mediante slider: ampiezza, offset e fase dell'oscillazione. Un controllo è stato posto anche per regolare il periodo delle sinusoidi (comune per tutti i motori). I motori della gamba sinistra sono sfasati di  $180^\circ$  rispetto a quelli della gamba destra. Per mezzo di questi controlli si sono regolati i motori in modo da avere una camminata simile a quella reale, evitando lo strisciamento dei piedi.

<i>Modello I</i>	
<b>Gradi di libertà del torace</b>	Traslazioni lungo $x,y,z$
<b>Motori</b>	2 movimento principale anca 2 movimento principale ginocchio 2 movimento principale caviglia
<b>Controlli Slider</b>	9



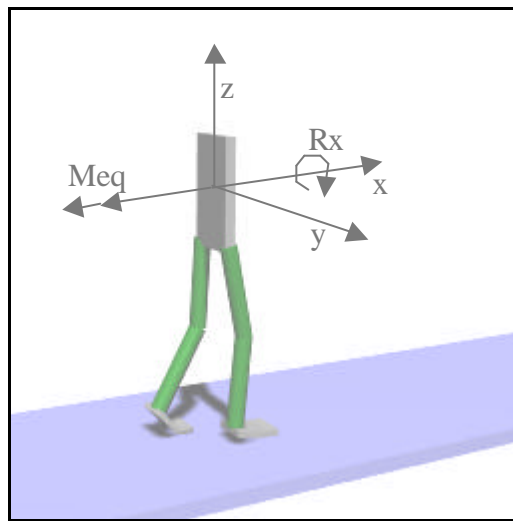
## 2.2 Modello II (*gdl torace: $x,y,z,Rx$ ; coppia esterna di equilibrio*)

Il passo successivo è stato togliere al vincolo sul torace il blocco della rotazione intorno a x; così facendo si introduce nel modello il moto di rollio.

In questo modo, senza ulteriori affinamenti, il modello tocca terra con entrambi i piedi in tutte le fasi del moto, e perciò li striscia entrambi nel pavimento senza muoversi. Il problema è quindi fare in modo che, alternativamente, il peso si sposti sulla gamba di appoggio, permettendo all'altra gamba di sollevare il piede e compiere il passo.

La prima soluzione, introdotta nel modello II, è quella di applicare al torace una coppia di andamento sinusoidale  $Meq$  in modo che il peso venga spostato alternativamente sulla gamba di appoggio. Per tentativi, si sono regolati ampiezza e fase di questa coppia per ottenere l'effetto voluto.

<i>Modello II</i>	
<b>Gradi di libertà del torace</b>	Traslazioni lungo $x,y,z$ Rotazione attorno a x (rollio)
<b>Motori</b>	2 movimento principale anca 2 movimento principale ginocchio 2 movimento principale caviglia
<b>Controlli Slider</b>	9
<b>Equilibrio</b>	Coppia equilibrante esterna applicata al torace ( $Meq$ )



## 2.3 Modello III (*gdl torace: $x,z,Rx$* )

Un secondo modo di risolvere il problema del controllo del rollio è quello di modificare il moto degli arti, soluzione più simile alla realtà in quanto evita di introdurre una coppia esterna.

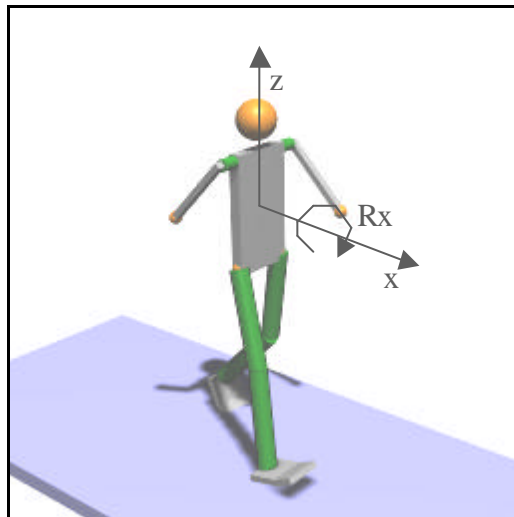
Perciò si è affinato il modello in questo modo:

- Nei due piedi si è introdotto un motore che comanda il movimento relativo tra parte posteriore e anteriore del piede, eliminando il vincolo che bloccava la rotazione della parte anteriore. In questo modo si riesce a controllare meglio la camminata, facendo sì che il piede spinga verso l'alto il corpo.

- Si sono introdotte le braccia, mosse anch'esse da motori con movimento sinusoidale in un piano parallelo alla direzione del moto (movimento principale).
- Si sono introdotti per ogni gamba due ulteriori motori a movimento sinusoidale per imporre all'anca e alla caviglia anche un movimento di rotazione oscillatoria nel piano trasversale alla direzione di moto. Per conservare la giusta orientazione dei piedi, i due motori all'anca e alla caviglia impongono uno spostamento uguale e contrario. Questo movimento, come anche quello delle braccia, è introdotto per far sì che il corpo sposti il peso alternativamente nella gamba portante, senza però perdere l'equilibrio.

Nonostante le modifiche al movimento delle gambe e l'introduzione delle braccia, non si riesce ad avere l'equilibrio del modello. Per la precisione, non si riesce ad avere contemporaneamente l'equilibrio e il movimento di attacco-distacco del piede dal terreno (il modello sta in equilibrio soltanto se striscia i piedi, ma in tal modo cammina all'indietro). Perciò, per ottenere una camminata stabile, si è dovuto bloccare la traslazione nella direzione trasversale  $y$ .

<i>Modello III</i>	
<b>Gradi di libertà del torace</b>	Traslazioni lungo $x, z$ Rotazione attorno a $x$ (rollio)
<b>Motori</b>	2 movimento principale anca 2 movimento trasversale anca 2 movimento principale ginocchio 2 movimento principale caviglia 2 movimento trasversale caviglia 2 movimento principale spalla 2 movimento pianta del piede
<b>Controlli Slider</b>	21
<b>Equilibrio</b>	Movimento trasversale gambe Movimento principale braccia



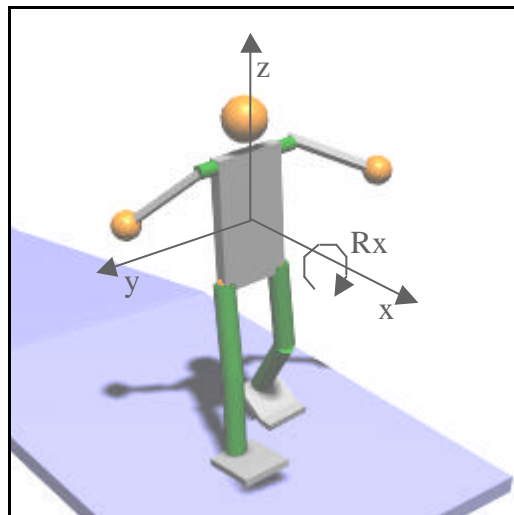
## 2.4 Modello IV (*gdl torace: x,y,z,Rx*)

L'obiettivo è ora quello di togliere il vincolo che blocca la traslazione lungo y e ottenere contemporaneamente:

1. l'equilibrio del modello (non deve cadere lateralmente)
2. lo spostamento del peso alternativamente sulla gamba di appoggio (il modello deve sollevare la gamba non portante e compiere il passo , evitando di strisciare entrambi i piedi sul terreno).

Per ottenere ciò si sono introdotti altri due motori sinusoidali che impongono alle braccia anche un movimento nel piano trasversale al moto. Si sono poi tarati i parametri del movimento delle braccia e la grandezza delle masse alle loro estremità in modo che il moto risulti stabile.

<i>Modello IV</i>	
<b>Gradi di libertà del torace</b>	Traslazioni lungo x,y,z Rotazione attorno a x (rollio)
<b>Motori</b>	2 movimento principale anca 2 movimento trasversale anca 2 movimento principale ginocchio 2 movimento principale caviglia 2 movimento trasversale caviglia 2 movimento principale spalla 2 movimento trasversale spalla 2 movimento pianta del piede
<b>Controlli Slider</b>	24
<b>Equilibrio</b>	Movimento trasversale gambe Movimento principale braccia Movimento trasversale braccia



### 3. Grafici

#### 3.1 Modello I

Come si vede dalla figura 1, nel modello I il movimento è molto regolare, dopo un breve periodo di stabilizzazione (circa 1 s). La velocità lungo la direzione del moto oscilla ,con legge all'incirca periodica, tra 0 e 0,8 m/s (nel grafico i valori sono negativi perché il modello cammina in verso opposto all'asse x). La velocità lungo z (direzione verticale) oscilla con legge simil-sinusoidale ed ha valore medio 0. La velocità lungo y è nulla, pur non essendo bloccata la traslazione lungo y: ciò è dovuto all'assenza di forze in direzione trasversale in questo modello.

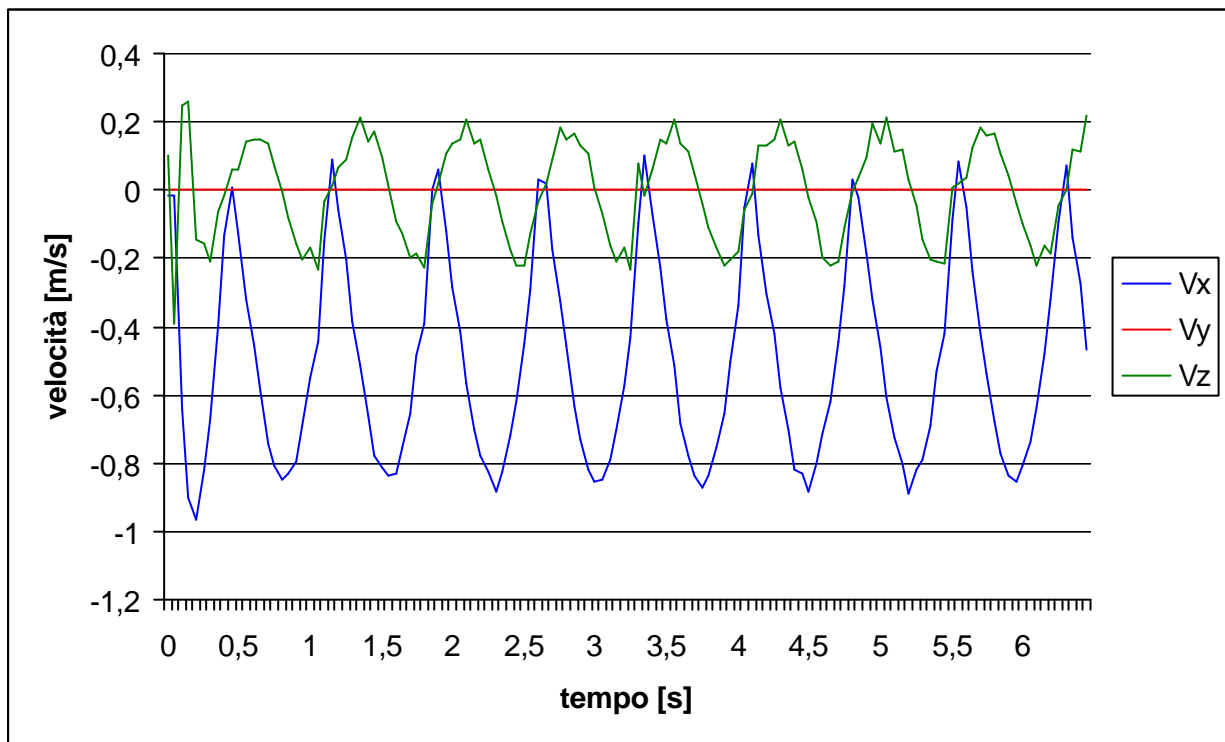


Fig. 1 – Velocità nel modello I

### 3.2 Modello II

In questo modello, in cui una coppia -tarata appositamente- mantiene l'equilibrio, la velocità lungo la direzione del moto  $x$  si mantiene abbastanza regolare, oscillando ora tra  $-0.2$  e  $0.6$  (per un attimo il modello ha un moto retrogrado). L'oscillazione lungo la verticale  $z$  si mantiene simil-sinusoidale, mentre quella in direzione trasversale  $y$  ha andamento più irregolare (vedi figura 2).

Il moto di rollio (vedi figura 3) ha un andamento irregolare; i picchi sono smussati in quanto l'equilibratura è ottenuta mediante la coppia esterna  $Meq$  (di andamento sinusoidale). L'angolo massimo di rollio è di circa 6 gradi.

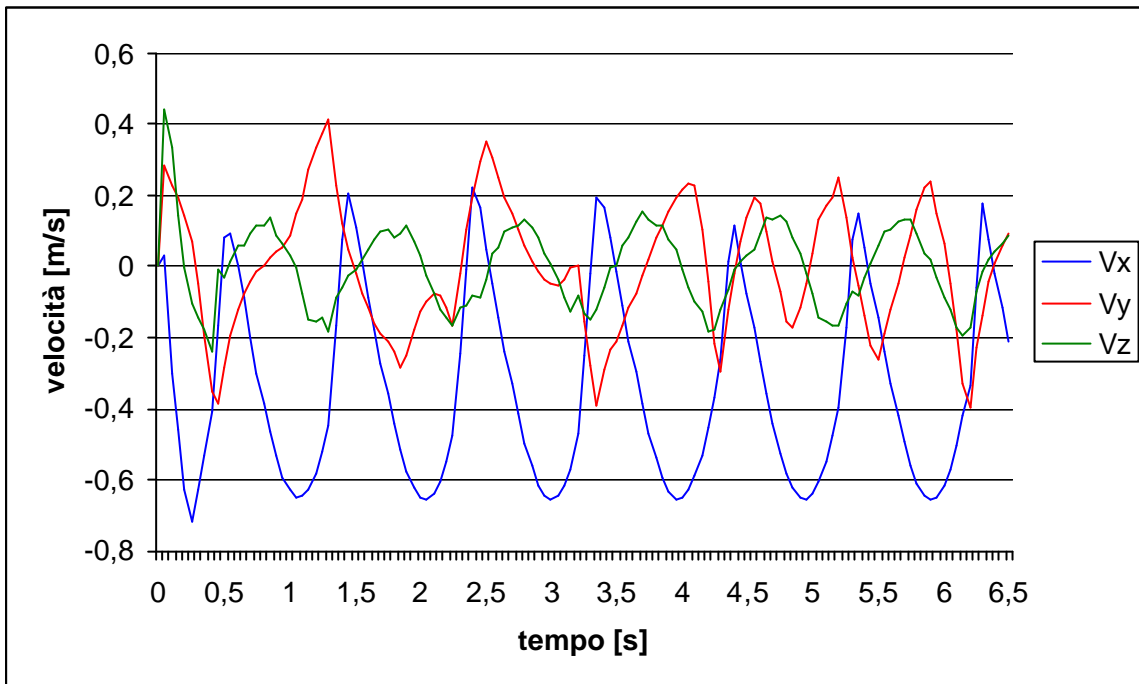


Fig. 2 – Velocità nel modello II

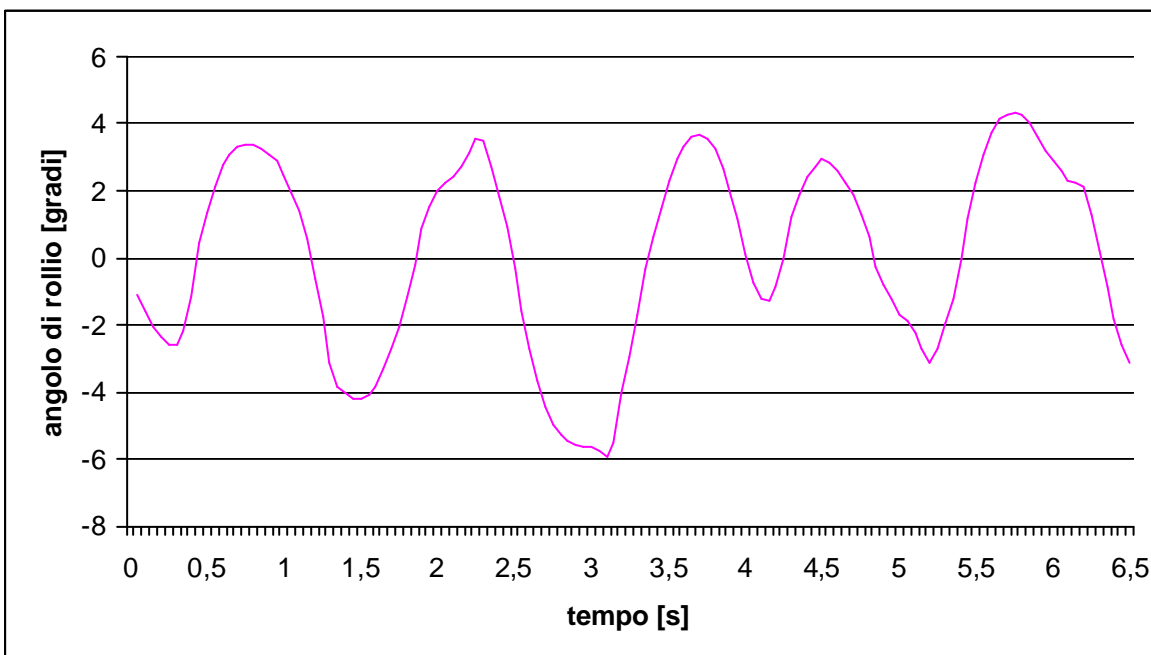


Fig 3 – Angolo di rollio nel modello II

### 3.3 Modello III

In questo modello viene tolta la coppia esterna di equilibratura e viene bloccata la traslazione lungo y. L'andamento delle velocità (figura 4) è simile a quello del modello precedente (eccetto quella lungo y che in questo caso è nulla).

Il moto di rollio (figura 5) ha un andamento più discontinuo rispetto al modello precedente (picchi più appuntiti). Questo perché il bilanciamento, che prima era dato da  $M_{eq}$ , è ottenuto ora mediante il movimento delle braccia e quello trasversale delle gambe, con l'aiuto determinante del blocco sulla traslazione lungo y. Il sovrapporsi di queste forze aumenta il numero delle inversioni brusche del valore dell'angolo di rollio, rendendo più frastagliato il grafico. D'altra parte il massimo valore assoluto dell'angolo di rollio (3 gradi) è minore rispetto al caso precedente.

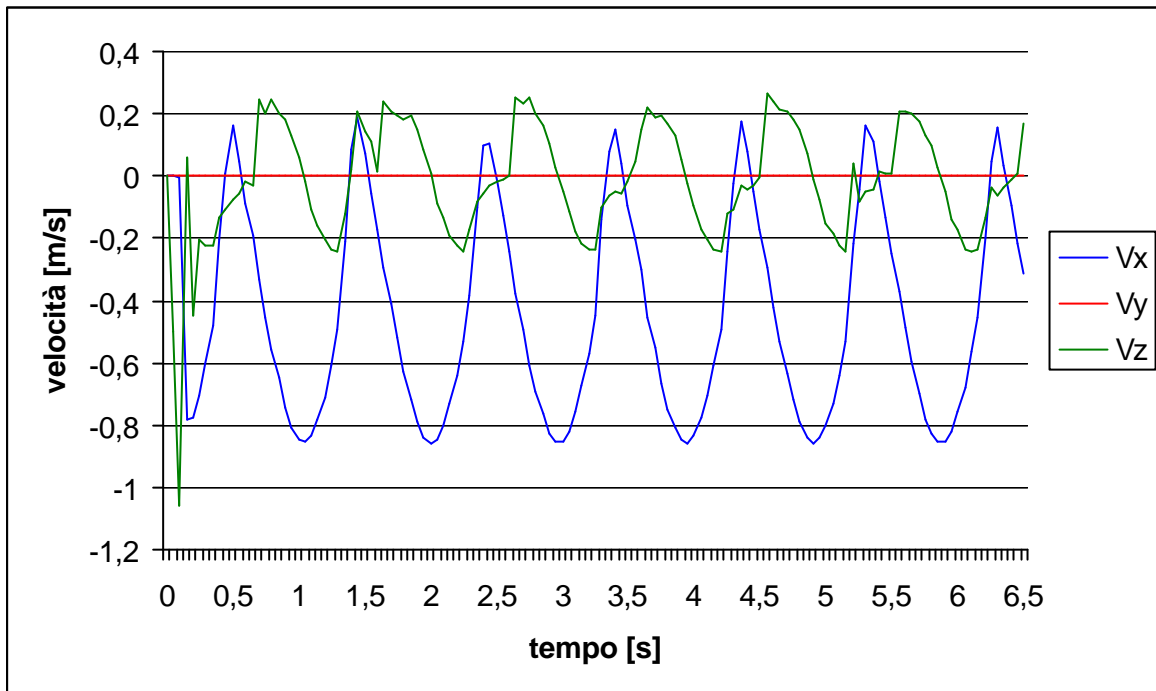


Fig. 4 – Velocità nel modello III

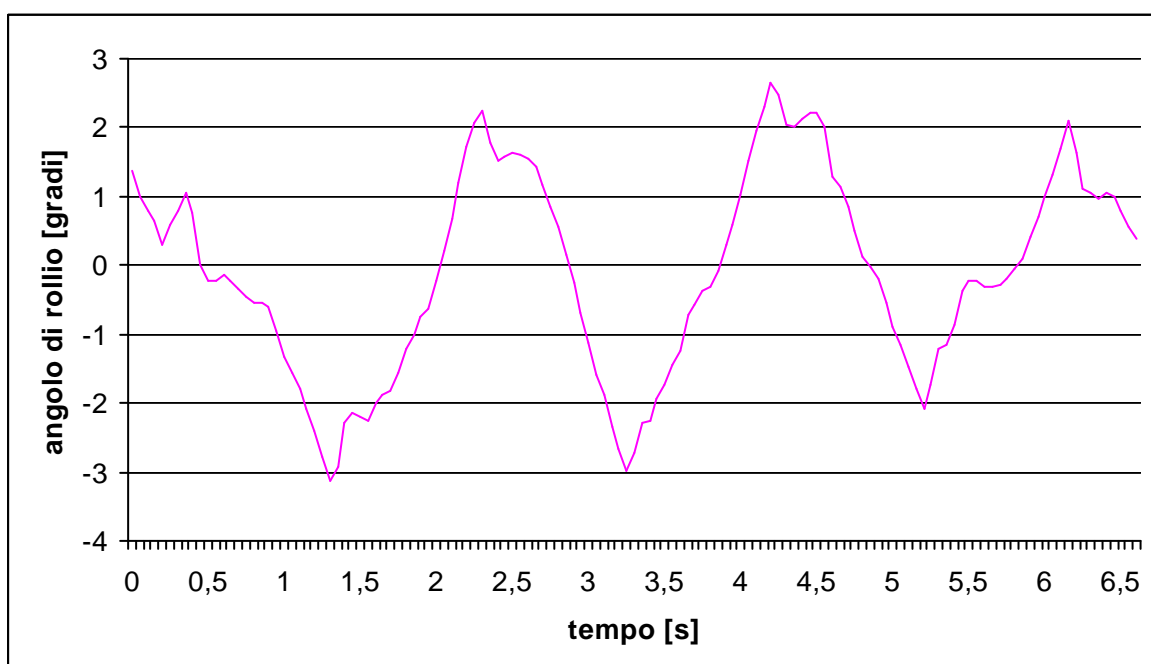


Fig 5 – Angolo di rollio nel modello III



### 3.4 Modello IV

Questo modello è equilibrato solo mediante il movimento (principale e trasversale) delle braccia e delle gambe. Come si può vedere in figura 6, la velocità lungo la direzione del moto x si stabilizza dopo circa 3,5 s e assume un andamento simil-sinusoidale oscillante tra 0,1 e 0,5 m/s. Le velocità lungo y e z assumono andamento irregolare ma con picchi arrotondati.

Il moto di rollio (figura 7) si stabilizza dopo circa 5 s e assume un andamento a dente di sega oscillante tra  $-7$  e  $+7$  gradi.

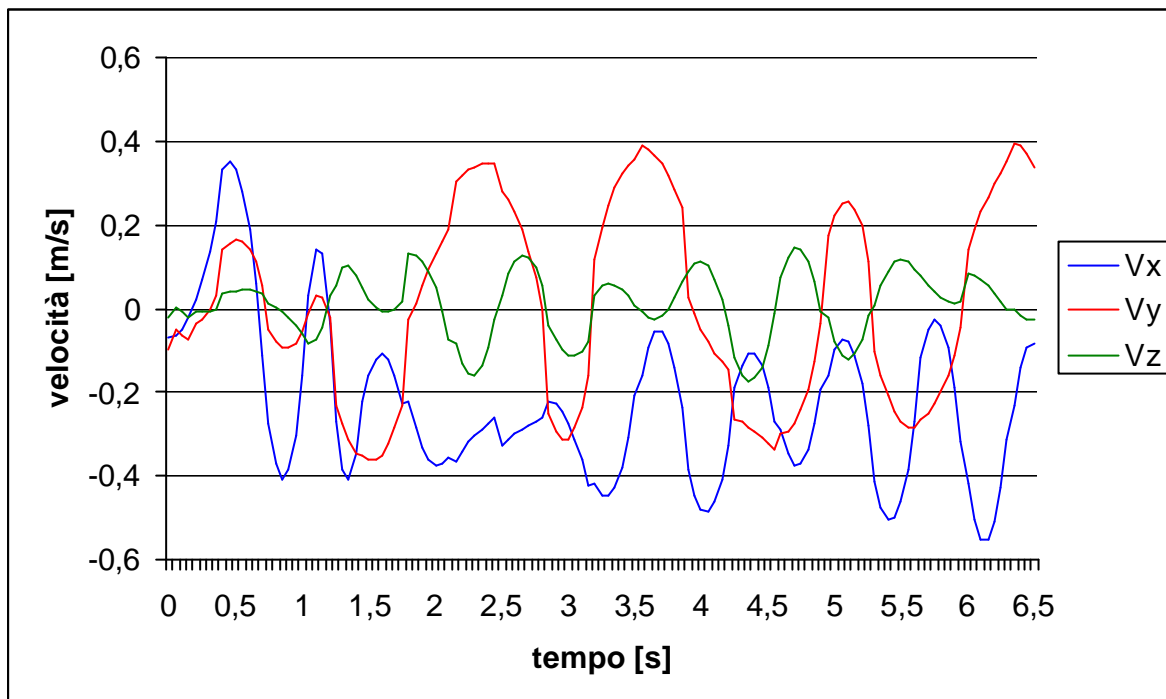


Fig. 6 – Velocità nel modello IV

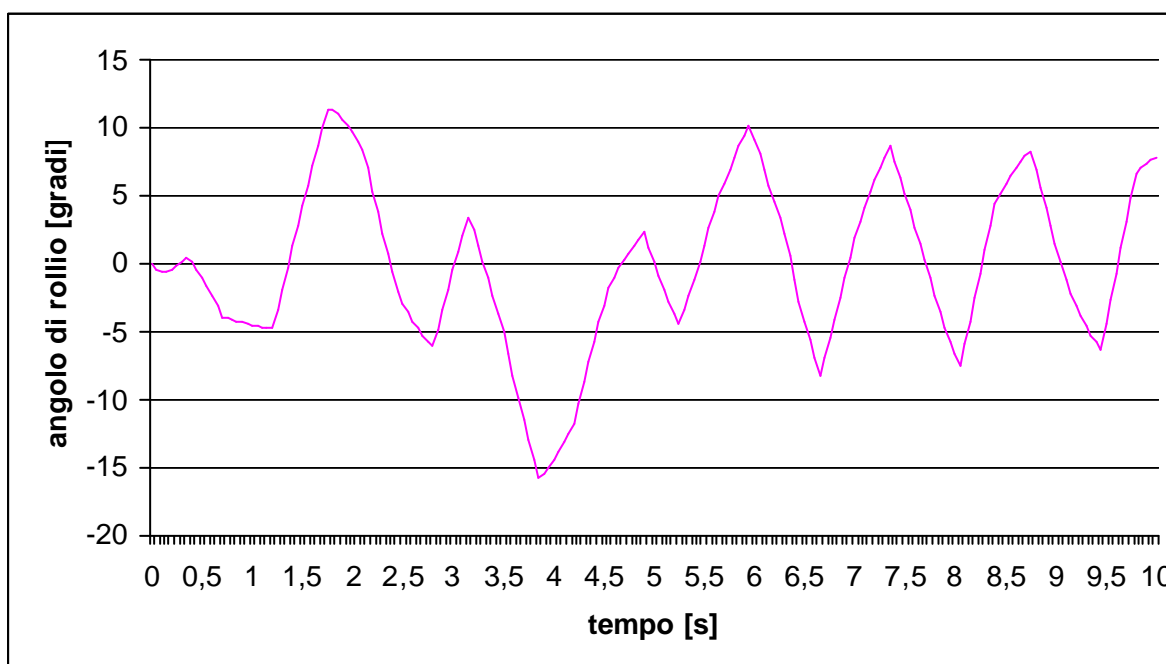


Fig 7 – Angolo di rollio nel modello IV

#### 4. Osservazioni

- Mettendo a punto i modelli III e IV, si riusciva dopo poche regolazioni dei motori a ottenere un moto stabile ed equilibrato ma in cui il modello “camminava” all’indietro strisciando entrambi i piedi sul terreno; il punto critico è stato avere contemporaneamente equilibrio e attacco-distacco dei piedi dal terreno.
- Il modello IV è l’unico in cui il grafico dell’andamento delle velocità ha picchi smussati. Questo potrebbe essere dovuto al fatto che, mentre nei precedenti modelli l’equilibrio era stato ottenuto con l’aiuto di vincoli esterni, in questo le forze equilibratrici sono ottenute solo con il movimento degli arti. Il modello IV (più instabile perché meno vincolato) ha richiesto una maggiore cura nella taratura dei motori rispetto ai precedenti modelli (più stabili perché più vincolati): nell’andamento delle velocità non ci sono più quei picchi appuntiti (associabili a grosse accelerazioni istantanee) sopportabili dagli altri modelli ma che in questo avrebbero provocato la perdita dell’equilibrio.
- Generalizzando l’osservazione del punto precedente: meno il modello è soggetto a vincoli esterni, e più dolce deve essere l’andamento delle velocità (accelerazioni meno brusche) per permettere al modello di stare in equilibrio. Pertanto, passando dal modello I al IV, si nota un “addolcirsi” dei picchi nei grafici delle velocità in funzione del tempo.